

Analisis Karakteristik Elektrik ZnO Terdoping Cr₂O₃ Untuk Aplikasi Varistor Tegangan Rendah

Henry B.H. Sitorus¹, Dwi Asmi², Saka Sandaran³

1. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
 2. Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Lampung
 3. Alumni Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
- hbh_sitorus@unila.ac.id

Abstrak—ZnO merupakan salah satu bahan utama pembuatan varistor yang dapat digunakan sebagai pelindung peralatan elektronik dan listrik dari bahaya tegangan lebih impuls. Kemampuan varistor untuk berfungsi sebagai pelindung disebabkan karena ZnO mempunyai resistansi yang tidak linier. Ketika sistem tidak mengalami gangguan tegangan lebih, arus tidak mengalir dari varistor, tetapi pada saat terjadi gangguan tegangan lebih pada sistem, arus akan mengalir dari saluran yang terganggu ke tanah melalui varistor. Penambahan dopan pada ZnO diharapkan akan mampu memperbaiki ketidaklinieran ZnO. Pada penelitian ini dopan yang digunakan adalah Cr₂O₃. Pembuatan varistor menggunakan metode pengepresan kering pada tekanan 150 kg/cm². Penyinteran dilakukan pada suhu 900°C dengan waktu penahanan selama 2 jam. Ukuran varistor yang dihasilkan memiliki ketebalan ± 1.5 mm dan diameter ± 19 mm. Karakterisasi yang dilakukan meliputi analisis struktur kristal menggunakan difraksi sinar x, mikrostruktur menggunakan MO dan SEM, dan karakterisasi sifat listrik volt-waktu menggunakan pembangkit tegangan impuls kapasitif. Berdasarkan hasil pengujian difraksi sinar-x dan sesuai dengan PDF No. 38-1479 membuktikan bahwa sampel ZnCr5.0 mengandung Cr₂O₃ dengan kandungan dominan senyawa ZnO. Mikrostruktur yang didapatkan melalui SEM nampak tidak begitu jelas, hal ini disebabkan karena proses preparasi yang tidak optimum dan tidak dilakukan pengetsaan pada sampel uji. Varistor ZnO murni dapat bekerja memotong tegangan impuls yang diberikan, sedangkan varistor campuran ZnO-Cr₂O₃ tidak dapat bekerja memotong tegangan impuls 900 V–1450 V yang diberikan, hal ini diduga disebabkan suhu penyinteran yang diberikan tidak optimum dan dopan yang diberikan tidak cukup untuk memperbaiki kinerja suatu varistor

Kata kunci: varistor, ZnO-Cr₂O₃, karakteristik V-t, SEM, XRD

Abstract—ZnO is one of the main ingredients of making varistor can be used as a protective device to protect electronic and electrical equipment from the dangers of impulse over voltage. Ability to function as a varistor protective because ZnO has a resistance that is not linear. When the system did not experience over voltage fault, current does not flow from the varistor, but when over voltage fault on system, current will flow from the fault line to the ground through varistor. The addition of dopant to ZnO expected to improve non-linierity of ZnO resistance. In this research used Cr₂O₃ as dopant. Varistor manufacturing using the dry pressing method at a pressure of 150 kg/cm². Sintering process performed at a temperature of 900°C with a time of detention for 2 hours. The size of the resulting varistor has a thickness ± 1.5 mm and ± 19 mm diameter. Characterization performed includes the analysis of crystal structures using X-ray diffraction, microstructure using MO and SEM, and electrical properties characterization volt-time using capacitive impulse voltage generator. Based on test results of x-ray diffraction and in accordance with PDF No. 38-1479 prove that the sample ZnCr5.0 contains Cr₂O₃ with ZnO compounds dominant. Microstructure obtained by SEM seems not so clear, it is because the process is not optimum preparation and etching is not performed on test samples. Pure ZnO Varistor can work cut given impulse voltage, whereas the varistor mixtures of ZnO-Cr₂O₃ can not work to cut the impulse voltage 900 V-1450 V provided, it is alleged to be caused sintering temperature given is not optimum and dopan provided is not sufficient to improve performance a varistor.

Keywords: varistor, ZnO-Cr₂O₃, V-t characteristics, SEM, XRD

Naskah ini diterima pada tanggal 20 September 2008, direvisi pada tanggal 3 Nopember 2008 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Desember 2008

A. Pendahuluan

ZnO adalah salah satu keramik oksida logam yang mempunyai karakteristik

listrik yang khas karena bahan ini mempunyai sifat seperti semikonduktor (Takata, 1976). ZnO merupakan salah satu bahan utama pembuatan varistor yang dapat digunakan sebagai pelindung peralatan elektronik dan listrik dari tegangan lebih dan sebagai penstabil tegangan. Kemampuan varistor untuk berfungsi seperti di atas timbul karena ZnO mempunyai tahanan yang non-linier. Sehingga pada saat sistem tidak mengalami gangguan tegangan lebih, varistor bersifat isolator atau tidak mengalirkan arus, tetapi pada saat sistem mengalami gangguan tegangan lebih, varistor akan mengalirkan arus ke tanah. Karakteristik arus tegangan (I-V) dari varistor adalah non-linier, ini serupa dengan diode zener. Seperti sebuah dioda, varistor dapat memproteksi peralatan dari tegangan lebih dalam kedua polaritas, sehingga memberikan kenaikan pada karakteristik I-V yang analog dengan dua dioda *back-to-back*. Varistor dapat digunakan dalam medan arus bolak-balik (ac) atau arus searah (dc) pada interval tegangan yang besar, dari beberapa volt sampai 10 kV dan pada rentang arus yang lebar dari mikroamper sampai kiloamper. Varistor mempunyai tambahan sifat yaitu kemampuan mengabsorpsi energi tinggi, dalam interval dari beberapa Joule sampai ribuan Joule.

Penambahan zat lain sebagai dopan dalam pembuatan keramik elektronik khususnya varistor dengan bahan dasar ZnO telah banyak diaplikasikan. Contohnya Bi₂O₃, Syarif, *et al* (1998) menyatakan bahwa Bi₂O₃ telah mampu menjadi pemacu pertumbuhan butir (*grain growth promoter*) melalui *liquid phase sintering*. Berdasarkan Analisis menggunakan EDAX diketahui bahwa material batas butir adalah material yang terdiri dari Zn dan Bi dengan kandungan Bi hampir dua kali lebih banyak dari pada Zn. Saat ini oksida metal seperti *bismut, cobalt, mangan, antimony,*

dan *chromium* telah digunakan sebagai aditif untuk membuat varistor.

Dalam hal batas butir, pengaruh dopan dan suhu penyinteran merupakan parameter yang sangat mempengaruhi pembentukan karakteristik varistor. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilihat pengaruh penambahan *chromium oxide* pada keramik varistor berbasis *zinc oxide* yang akan disinter pada suhu 900 °C, terhadap sifat listrik V-t. Kromium oksida mempunyai efek besar pada formasi fasa dan mikrostruktur keramik ZnO, ini disebabkan oleh keseragaman butir ZnO dan segregasi dalam batas butir ketika keramik disinter dibawah 1450°C (Matsuoka, 1971). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hyuk, *et al* (1997) menyatakan bahwa penambahan dopan Cr₂O₃ meningkatkan konsentrasi elektron konduksi dan secara simultan mengurangi *equilibrium* dan *interstitial zinc*, sehingga peningkatan konduktivitas elektrik berhubungan dengan pengurangan koefisien difusi *zinc*.

Proses pembuatan keramik khususnya varistor yang meliputi preparasi, pembentukan, dan penyinteran sangat mempengaruhi baik tidaknya varistor. Pilihan suatu proses pembentukan sebuah keramik pada umumnya ditentukan oleh faktor ekonomi (efisiensi memproduksi). Oleh karena itu pada penelitian ini proses pembentukan keramik elektronik menggunakan teknik *dry pressing* (pengepresan kering). Sesudah dicetak, kemudian dilakukan proses penyinteran terhadap keramik untuk memperoleh kekerasan/kekuatan yang diperlukan dan karakteristik mikrostruktur.

Evaluasi dan karakterisasi diperlukan untuk melihat unjuk kerja sebuah varistor. Salah satu evaluasi penting varistor yaitu karakterisasi V-t (volt-waktu), dimana dari evaluasi ini akan diketahui

keberhasilan varistor dalam memproteksi peralatan. Karakterisasi struktur kristal dan mikrostruktur varistor sangat diperlukan untuk melihat perbedaan batas butir varistor yang terdiri dari campuran ZnO dan Cr₂O₃ serta varistor berbahan murni ZnO.

Penelitian ini membahas pembuatan keramik elektronik ZnO-Cr₂O₃ untuk aplikasi varistor. Mengkarakterisasi struktur kristal varistor ZnO-Cr₂O₃ menggunakan teknik difraksi sinar-x (XRD) dan mikrostruktur menggunakan mikroskop optik (MO) dan *scanning electron microscopy* (SEM). Mempelajari karakteristik sifat listrik V-t (volt-waktu) varistor ZnO murni dan mempelajari pengaruh penambahan Cr₂O₃ pada varistor ZnO terhadap sifat listrik volt-waktu.

Penambahan Cr₂O₃ bervariasi dari 0,5 mol%; 1 mol%; 1,5 mol%; 2,0 mol%; dan 5,0 mol%. Tekanan yang digunakan dalam proses pembuatan varistor adalah 150 kg/cm². Penyinteran dilakukan pada suhu 900 °C dengan waktu penahanan selama 2 jam. Pengujian dan karakterisasi volt-waktu menggunakan pembangkit tegangan impuls kapasitif dengan *input* tegangan 40 V, 50 V, dan 60 V sehingga menghasilkan tegangan keluaran pembangkit 1263,11 volt; 1344,60 volt; 1385,35 volt; 1426,10 volt dan 1466,84 volt dengan 5 waktu muka yaitu 1,2 µs, 2,3 µs, 5,3 µs, 10 µs, dan 19 µs.

B. Tinjauan Pustaka

Zinc Oxide (ZnO)

Zinc Oxide (ZnO) merupakan bahan semikonduktor tipe-n dengan lebar pita energi 3.2 eV-3.3 eV pada suhu kamar (Muftazani, 2004). Oksida ini memiliki transmisi optik yang tinggi serta dapat menghantarkan listrik. Sifat yang unik tersebut membuat lapisan tipis ZnO menjadi pilihan utama untuk berbagai aplikasi konduktor transparan, seperti layar

datar komputer laptop, sel surya, serta aplikasi lain seperti sensor gas, transduser piezoelektrik, dan lain sebagainya. Untuk mendapatkan konduktivitas listrik dan transparansi yang diinginkan dapat dilakukan penambahan doping atom logam, seperti Al, Sn, Cd, Ga, In, dll, pada lapisan tipis ZnO.

Chromium Oxide (Cr₂O₃)

Chrom dilambangkan dengan Cr, termasuk dalam golongan VIB periode 4. Khromium berasal dari bahasa Yunani berarti warna. Khrom mempunyai nomor atom 24 dan berat atom 51,996. Di alam logam khrom tidak pernah ditemukan dalam keadaan murni tetapi selalu ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lain. Sifat kimia logam khrom mempunyai bilangan oksida +2, +3, dan +6. Logam ini tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab, bahkan pada proses pemanasan cairan logam ini. Chromium oxide (α -Cr₂O₃) yang berwarna hijau (struktur korundum) terbentuk pada pembakaran Cr dalam O₂, dalam dekomposisi termal CrO₃ atau pada pemanggangan oksida hidrat Cr₂O₃ · n H₂O yang belakangan umumnya disebut “hidroksida khrom III”. Walaupun kandungan airnya bervariasi, diendapkan pada penambahan OH- pada larutan garam Cr^{III}, khromium oksida yang ditunjukkan pada oksida lainnya adalah katalis yang penting bagi berbagai reaksi yang luas (Cotton, 1989).

Varistor ZnO

Mikrostruktur varistor ZnO adalah polikristalin keramik multi fasa yang dibuat dengan proses penyinteran konvensional dari campuran oksida seperti *bismuth*, *antimony*, *cobalt*, *mangan*, dan *chromium*, komponen utamanya adalah bubuk ZnO (Clarke, 1999). Varistor ZnO merupakan salah satu bagian utama dari *arrester metal oxide* (MOA) yang saat ini paling banyak dipakai. Arester jenis MOA

mampu melindungi isolasi peralatan sistem elektrik terhadap gangguan tegangan lebih internal dan eksternal. Prinsip kerja MOA adalah mampu menjadi tahanan yang sangat tinggi pada kondisi operasi normal dan menjadi tahanan yang sangat rendah ketika terjadi tegangan lebih transien. Hal ini disebabkan karakteristik (V-I) yang non linier.

Pemrosesan Material Varistor

Proses pembuatan varistor tidak jauh berbeda dengan teknik pembuatan keramik pada umumnya. Tahapan dasar dalam pemrosesan keramik dengan cara aglomerasi (pengelompokan) partikel adalah (1)preparasi material, (2)pembentukan, dan (3)perlakuan pemanasan (Smith, 1990).

Pemilihan Bahan Dasar

Ada beberapa zat yang digunakan untuk membuat keramik varistor, namun yang telah banyak diteliti adalah varistor dengan bahan dasar ZnO. Untuk menghasilkan karakteristik non-linier yang baik, dalam pembuatan varistor ditambahkan zat oksida sebagai dopan. Banyak sekali dopan yang digunakan sebagai aditif dalam pembuatan varistor untuk meningkatkan karakteristik non-liniernya, contohnya Bi_2O_3 , V_2O_5 , Cr_2O_3 , dan Mn_2O_3 , namun pada penelitian ini dopan yang digunakan adalah Cr_2O_3 karena tinjauan ekonomis dan bahan aditif ini dapat digunakan untuk memperbaiki keandalan.

Pembentukan

Produk keramik yang dibuat dengan cara aglomerasi partikel dapat dibentuk dengan berbagai metode baik dalam keadaan kering, plastis, atau cair. Pemrosesan secara *cold-forming* adalah yang utama dalam industri keramik, tetapi pemrosesan secara *hot-forming* juga dilakukan secara luas. Metode pembentukan produk keramik yang biasa digunakan adalah teknik

pengepresan, *slip casting* (penuangan), dan ekstrusi.

Metode pembentukan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengepresan kering (*dry pressing*). Pengepresan kering dapat didefinisikan sebagai pengepakan uniaksial secara simultan dan pembentukan butiran bubuk dengan bahan pengikat dalam sebuah cetakan (*die*). Sesudah dicetak kemudian keramik dibakar atau disinter untuk memperoleh kekerasan/kekuatan yang diperlukan dan karakteristik mikrostruktur.

Perlakuan Pemanasan

Perlakuan pemanasan merupakan tahapan yang penting dalam pemrosesan produksi keramik. Terdapat tiga tahapan dalam perlakuan pemanasan yaitu pengeringan, penghilangan pengikat, dan penyinteran. Tujuan dari pengeringan keramik adalah untuk menghilangkan air dari bodi plastis keramik sebelum dibakar pada suhu tinggi. Pada umumnya, pengeringan untuk menghilangkan air dilakukan pada suhu 100°C selama 24 jam. Bahan pengikat organik dalam bodi keramik dapat dihilangkan dengan cara dipanaskan pada suhu $200\text{--}300^{\circ}\text{C}$, meskipun residu *hydrocarbon* memerlukan suhu yang lebih tinggi. Tahapan selanjutnya adalah penyinteran yaitu proses dimana partikel kecil dari material terikat bersama-sama secara difusi *solid-state*. Dalam pembuatan keramik varistor perlakuan pemanasan ini menghasilkan sebuah transformasi padatan berpori menjadi padat (*dense*).

C. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *zinc oxide* (merck, German) dengan tipe ZnO 108849 GR, ACS dan dopan yang digunakan adalah *chromium oxide* (Cr_2O_3). Media penyampur yang digunakan yaitu aseton, dan alas pembakaran material menggunakan *alumina* (ALCOA, USA).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat press hidrolik, alat cetak (*die*), *furnace* dengan merek Nabertherm/Logotherm dengan *range* suhu 0°C–1050°C, mortar/pesstel, *magnetic stirrer*, sendok, gelas kimia, pinset, timbangan digital, jangka sorong digital, dan amplas. Pengujian struktur kristal menggunakan difraktometer sinar-x dengan merek Shimadzu Tipe XD-600, dan pengujian mikrostruktur menggunakan mikroskop optik dengan merek Nikon UFX-DX dan *scanning electron microscopy* (SEM) dengan merek SEM XL-30 Philips.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian karakteristik V–t yaitu: Satu set voltage regulator, satu set peralatan pembangkitan tegangan tinggi impuls, multimeter chauvin arnoux, osiloskop tabung sinar katoda, satu set komputer.

Serbuk ZnO yang digunakan mempunyai kemurnian 99 % di campur dengan serbuk Cr₂O₃. Komposisi campuran kedua zat tersebut terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi campuran ZnO dan Cr₂O₃ berdasarkan perbandingan mol.

No	Sampel	ZnO (mol %)	Cr ₂ O ₃ (mol %)
1	ZnO murni	100,0	0,0
2	ZnCr 0.5	99,5	0,5
3	ZnCr 1.0	99,0	1,0
4	ZnCr 1.5	98,5	1,5
5	ZnCr 2.0	98,0	2,0
6	ZnCr 5.0	95,0	5,0

Bubuk campuran ZnO dengan Cr₂O₃ pada tabel 1 dicetak dengan menggunakan *die*, kemudian di tekan dengan alat pres hidrolik dengan tekanan 150 kg/cm². Pelet

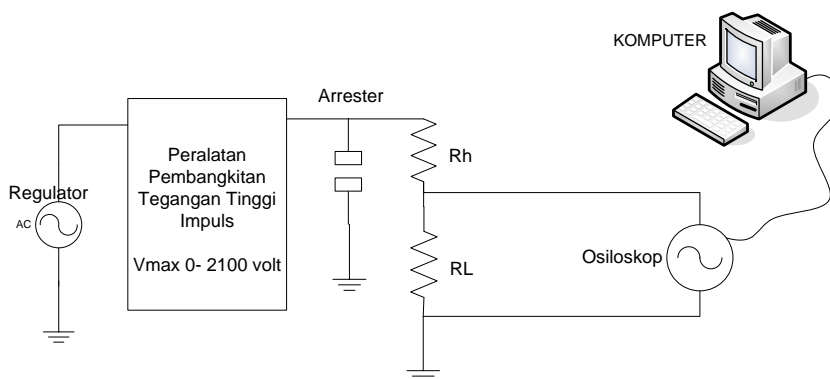
hasil penekanan, dipanaskan dengan menggunakan alat *furnace* dengan temperatur pemanasan 900°C dengan lama penahanan selama 2 jam.

Karakterisasi struktur kristal ZnO yang di doping Cr₂O₃ dilakukan menggunakan teknik difraksi sinar-x dengan alat difraktometer sinar-x (Shimadzu Tipe XD-600). Adapun kondisi eksperimen yang dilakukan adalah: tegangan di set pada 30 kV, arus 30 mA. Rentang data difraksi (2 theta) adalah 20°–100°. Setelah data diperoleh, analisis kualitatif dilakukan dengan menggunakan *search math analysis*, yaitu membandingkan data yang diperoleh dengan data standar (data base PDF = *powder diffraction file data base*).

Analisis mikrostruktur dilakukan dengan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) (SEM XL-30 Philips). Sebelum melihat mikrostruktur, sampel terlebih dahulu harus dipreparasi. Preparasi yang dimaksud meliputi pembeding (mounting), penggerindaan (*grinding*), pemolesan (*polishing*), dan pengetsaan (*etching*). Sampel akan dipoles menggunakan amplas dengan ukuran P280, P600, P800, P1000, dan P2000.

Pengujian karakteristik V-t dilakukan dengan menguji tegangan potong varistor untuk tegangan pengujian dengan waktu muka yang bervariasi. Waktu muka diberikan adalah 1,2µs; 2,3µs; 5,3µs; 10,0µs dan 19,0µs. Waktu muka yang bervariasi tersebut dapat diperoleh dengan mengatur nilai induktansi komponen induktor pada rangkaian, masing-masing dengan nilai 0,063 H, 0,174 H, 0,319 H, 3,300 H dan 9,22 H.

Karakteristik V-t adalah hubungan antara waktu muka dengan tegangan potong varistor. Pengujian tegangan potong arrester dilakukan dengan menggunakan



Gambar 1 rangkaian pengujian tegangan potong varistor dengan pembangkit tegangan impuls.

pembangkit impuls dengan rangkaian secara skematik seperti pada gambar 1.

Langkah pertama yang dilakukan adalah membangkitkan tegangan impuls tetapi tanpa menghubungkan varistor pada rangkaian. Tegangan masukan dari regulator diset 60 V, dengan nilai induktor 0,063 H sehingga waktu muka diperoleh 1,2 μ s. Tegangan terbangkitkan direkam oleh oscilloscope kemudian dikirim ke komputer melalui konektor RS232. Hal ini perlu dilakukan untuk mendapatkan bentuk tegangan impuls yang dibangkitkan sebelum dipotong oleh varistor.

Langkah kedua adalah memasang varistor pada rangkaian, kemudian menaikkan tegangan input 60 V dengan nilai induktor tetap 0,063 H. Tegangan keluaran direkam oleh oscilloscope kemudian dikirim ke komputer. Tegangan impuls terukur adalah tegangan potong arrester.

Kedua langkah ini diulang untuk waktu muka 2,3 μ s; 5,3 μ s; 10,0 μ s dan 19,0 μ s.

D. Hasil dan Pembahasan

Hasil Penyinteran

Penyinteran keramik varistor dilakukan pada suhu 900 $^{\circ}$ C, dengan waktu penahanan selama 2 jam dan melewati 2 level suhu yaitu 250 $^{\circ}$ C dan 600 $^{\circ}$ C, dengan waktu penahanan masing-masing 1 jam. Hal ini

dilakukan untuk mencegah terjadinya keretakan saat proses penyinteran mengingat sampel yang di bakar memiliki ketebalan yang relatif kecil.

Sebelum



ZnO
Murni

ZnCr0.5

ZnCr1.0

ZnCr1.5

ZnCr2.0

ZnCr5.0

Setelah



Gambar 2 Hasil pembentukan dan penyinteran, (a) sebelum dibakar, dan (b) setelah dibakar.

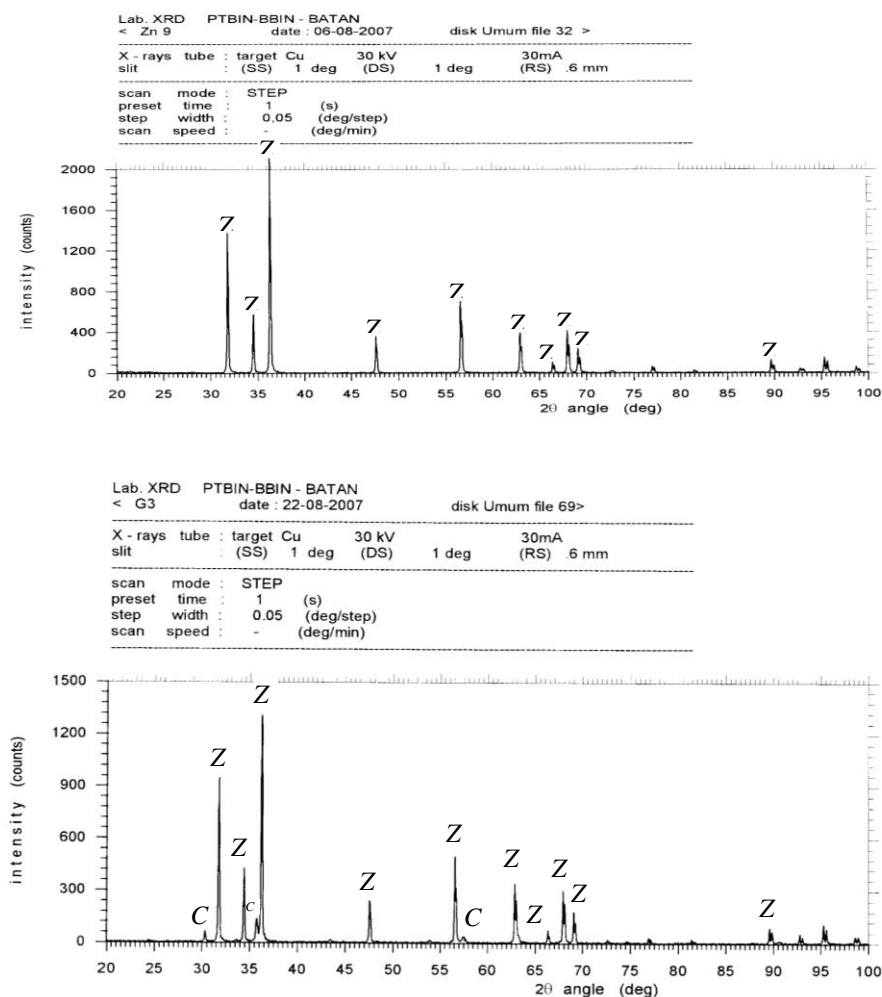
Setelah didinginkan dengan proses alami selama ± 24 jam, varistor yang dibuat sudah matang, namun suhu ini tidak ideal dalam proses penyinteran keramik varistor. Hal ini dapat terlihat ketika sampel sudah

selesai dibakar, sampel mudah sekali pecah. Sampel hasil penyinteran dapat dilihat pada gambar 2(b). Pada gambar tersebut terlihat bahwa sampel sebelum dibakar nampak berwarna hijau muda dan setelah dibakar terlihat varistor menjadi putih tidak bersih.

Hasil Karakterisasi Varistor Menggunakan Difraksi Sinar-x

Karakterisasi struktur kristal varistor ZnO dilakukan pada sampel ZnO murni dan ZnCr5.0. Hal ini dilakukan untuk melihat perbedaan secara jelas antara kedua varistor tersebut. Gambar 3 menunjukkan pola difraksi sinar-x varistor (a) ZnO murni, dan (b) ZnCr5.0.

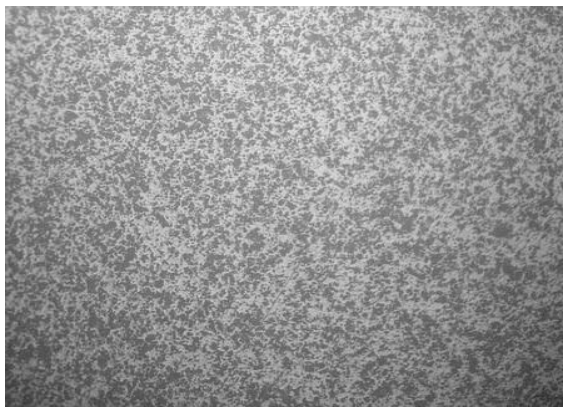
Hasil analisis menggunakan data base PDF No. 36–1451 untuk varistor ZnO, ternyata fasa yang diperoleh pada sampel ZnO murni adalah fasa ZnO (gambar 3a). Sedangkan pada sampel ZnCr5.0, berdasarkan analisa menggunakan data base PDF No. 38–1479 diketahui bahwa pada varistor ZnCr5.0 terdapat 2 fasa yang tercampur yaitu fasa ZnO dan fasa Cr_2O_3 . Pada gambar 24 (b) terlihat bahwa pada varistor ZnCr5.0 terdeteksi fasa Cr_2O_3 meskipun jumlahnya kecil. Lambang *z* menunjukkan fasa ZnO, sedangkan lambang *c* menunjukkan fasa Cr_2O_3 .



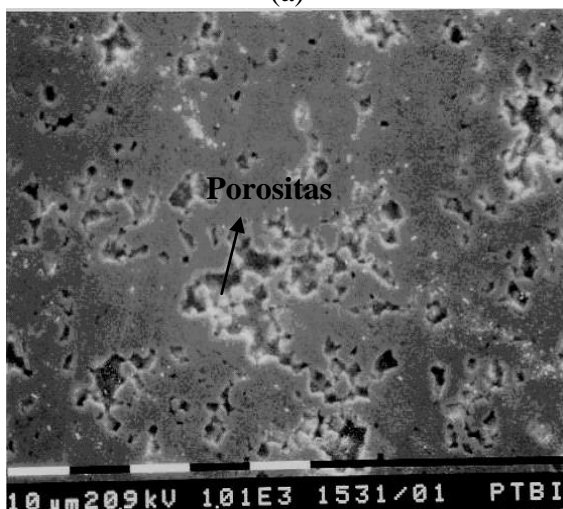
Gambar 3 Pola difraksi sinar-x varistor, (a) ZnO murni, dan(b) ZnO- Cr_2O_3 , Z = fasa ZnO, dan C = fasa Cr_2O_3 .

Hasil Karakterisasi Mikrostruktur Varistor Menggunakan Mikroskop Optik dan SEM

Untuk melihat mikrostruktur dari keramik varistor yang dibakar pada suhu 900°C dilakukan uji menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscopy* (SEM). Sampel yang digunakan untuk karakterisasi mikrostruktur adalah sampel ZnCr5.0 dan ZnO murni sebagai pembandingan.



(a)



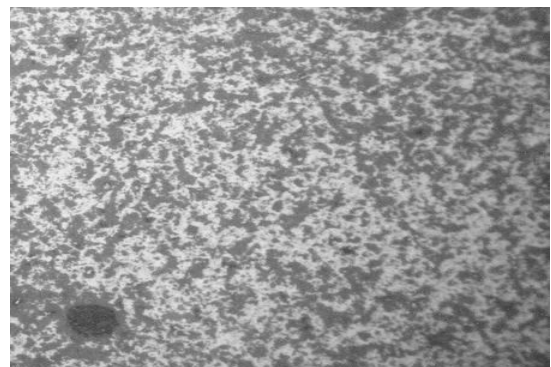
(b)

Gambar 4 Mikrostruktur sampel ZnO murni dengan (a) mikroskop optik, dan (b) dengan SEM.

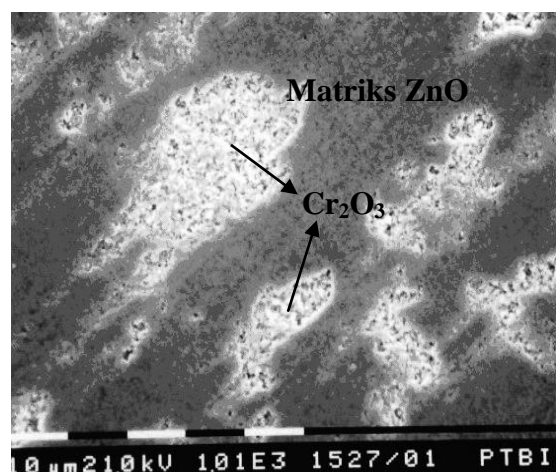
Gambar 4 menunjukkan hasil mikrostruktur keramik varistor ZnO murni dengan (a) menggunakan mikroskop optik

dengan perbesaran 400 kali, dan (b) menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) dengan perbesaran 600 kali.

Mikrostruktur pada gambar 4(a) tidak tampak jelas karena resolusinya cukup rendah dengan perbesaran 400 kali, dari gambar tersebut terlihat pola penyebaran serbuk *zinc oxide*. Akan tetapi mikrostruktur pada gambar 4(b) tampak lebih jelas karena resolusi pada *scanning electron microscopy* lebih tinggi dengan perbesaran 600 kali. Dari gambar tersebut diketahui bahwa pada sampel ZnO murni menunjukkan banyaknya porositas yang mengindikasikan kurangnya tekanan saat proses pengepresan dan proses penyinteran yang meliputi waktu penahanan dan temperatur.



(a)



(b)

Gambar 5. Mikrostruktur sampel ZnCr5.0 dengan (a) mikroskop optik, dan (b) dengan SEM.

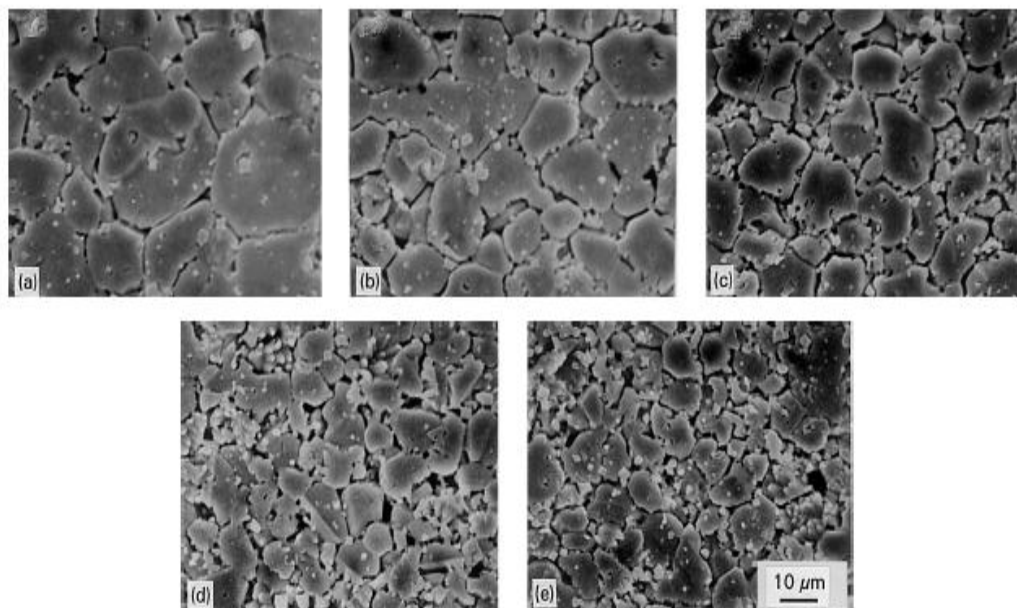
Gambar 5 menunjukkan mikrostruktur sampel ZnCr5.0 . Gambar (a) menunjukkan mikrostruktur yang dikarakterisasi menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 400 kali. Sedangkan gambar (b) menunjukkan mikrostruktur yang dikarakterisasi menggunakan SEM dengan perbesaran 600 kali.

Pada gambar 5 tidak terlihat secara jelas letak batas butir dan butir, gambar tersebut hanya menunjukkan pola pengelompokan antara ZnO dan Cr_2O_3 . Berdasarkan hasil struktur kristal menggunakan difraksi sinar-x menunjukkan adanya fasa ZnO dan fasa Cr_2O_3 . Ini berarti bahwa kedua zat tersebut homogen, hanya saja dari gambar tersebut terlihat Cr_2O_3 mengelompok dan tidak dapat tersegregasi dalam butir ZnO , hal ini diduga disebabkan oleh preparasi sampel untuk karakterisasi menggunakan MO dan SEM tidak optimal.

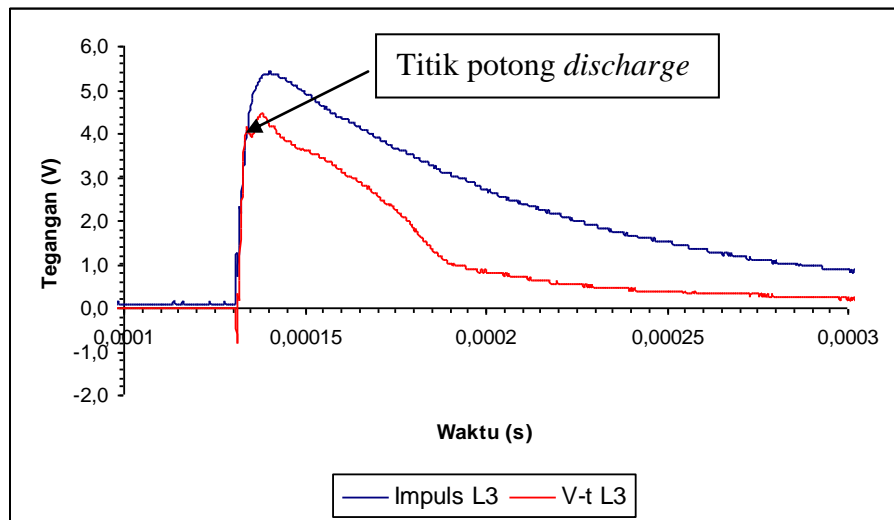
Gambar 6 menunjukkan mikrostruktur dari sampel dengan bermacam-macam kandungan Cr_2O_3 hasil penelitian dari

Hyuk, *et al* (1997) dengan komposisi varistor yang digunakan adalah $(98,3-x)\text{ZnO} + 0,7\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0,5\text{MnO}_2 + 0,5\text{Co}_2\text{O}_3 + x\text{Cr}_2\text{O}_3$ (mol%). Dimana x divariasikan dari 0–1%. Lapisan batas butir secara nyata ada, tetapi tidak dapat diamati sampai tuntas karena larutan 10% HCL dan HF yang digoreskan pada batas butir dapat merusak butir ZnO .

Gambar mikrostruktur hasil penelitian yang kami lakukan, ternyata hasilnya terlihat tidak detail dibandingkan dengan gambar mikrostruktur hasil penelitian yang dilakukan oleh Hyuk, *et al* (1997). Ada beberapa faktor yang menyebabkan gambar yang dihasilkan dari SEM tidak detail yaitu : Hasil preparasi sampel yang tidak optimum. Untuk mendapatkan gambar yang lebih detail diperlukan preparasi sampel sebelum dilihat menggunakan mikroskop optik dan SEM. Preparasi sampel yang harus dilakukan meliputi pembersihan (*mounting*), penggerindaan (*grinding*), pemolesan (*polishing*), dan pengetsaan (*etching*).



Gambar 6. Mikrostruktur varistor ZnO yang di sinter pada suhu 1150°C selama 2 jam, di doping dengan (a) 0 mol%, (b) 0,3 mol% (c) 0,5 mol%, (d) 0,7 mol%, dan (e) 1,0 mol% kandungan Cr_2O_3 (Hyuk *et al*, 1997).



Gambar 7 Respon varistor ZnO murni terhadap tegangan uji impuls 1385 V. keterangan :

Pada umumnya preparasi yang tidak optimum biasanya terjadi pada proses pemolesan (*polishing*), karena pada proses ini dibutuhkan ketelitian dan pengalaman yang cukup untuk melihat apakah sampel tersebut sudah siap diuji atau belum. Preparasi sampel yang tidak dilakukan pada penelitian ini yaitu pengetsan. Tujuan dari pengetsan ini adalah untuk menampakkan batas butir yang jelas pada butiran ZnO dan Cr_2O_3 yang diamati dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM. Larutan yang digunakan untuk proses etsa adalah campuran 10% HCL dan HF. Pengetsan tidak dilakukan karena sampel varistor sangat tipis sehingga dikhawatirkan apabila dilakukan pengetsan akan terjadi kerusakan varistor akibat larutan kimia.

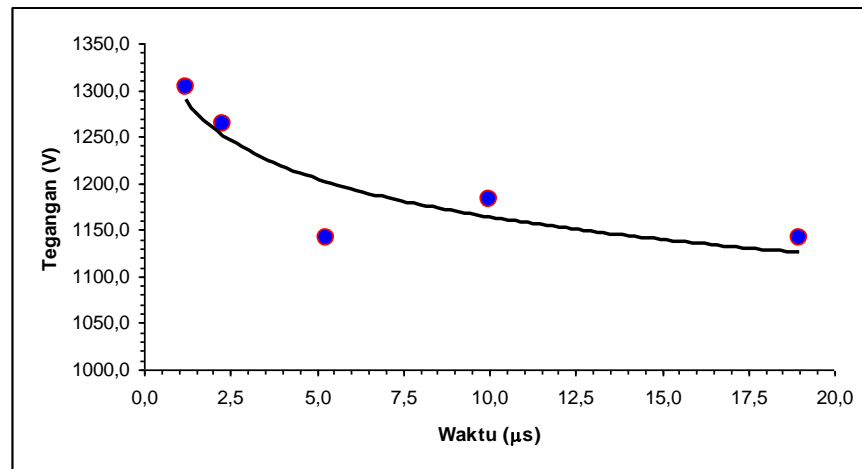
Proses penyinteran yang tidak optimum. Penyinteran merupakan proses penting dalam pembuatan varistor karena pada proses ini akan dibentuk mikrostruktur yang baik dari campuran beberapa zat apabila penyinteran yang dilakukan tidak optimum akan mengakibatkan pertumbuhan butir yang tidak optimum.

Hasil Pengujian Tegangan Potong dan Lengkung V-t Varistor ZnO Murni

Pengujian dilakukan menggunakan pembangkit tegangan impuls kapasitif dengan *input* tegangan 60 V dengan variasi waktu muka 1,2 μs ; 2,3 μs ; 5,3 μs ; 10,0 μs dan 19,0 μs . Dengan tegangan masukan 60 V, tegangan impuls yang dihasilkan pembangkit, masing-masing untuk variasi waktu muka tersebut adalah 1466,84 volt; 1426,10 volt, 1385,35 volt, 1344,60 volt dan 1263,11 volt.

Gambar 7. adalah tegangan potong untuk tegangan 1385,35 volt dengan waktu muka 5,3 μs . Varistor memotong pada tegangan 1140,88 volt.

Dari hasil pengujian tegangan potong varistor tegangan rendah untuk waktu muka masing-masing 1,2 μs ; 2,3 μs ; 5,3 μs ; 10,0 μs dan 19,0 μs , maka karakteristik V-t, yaitu hubungan antara waktu muka dengan tegangan potong dapat diperoleh, seperti pada gambar 8 .



Gambar 8 Lengkung V-t varistor ZnO murni pada *input* tegangan 60 V

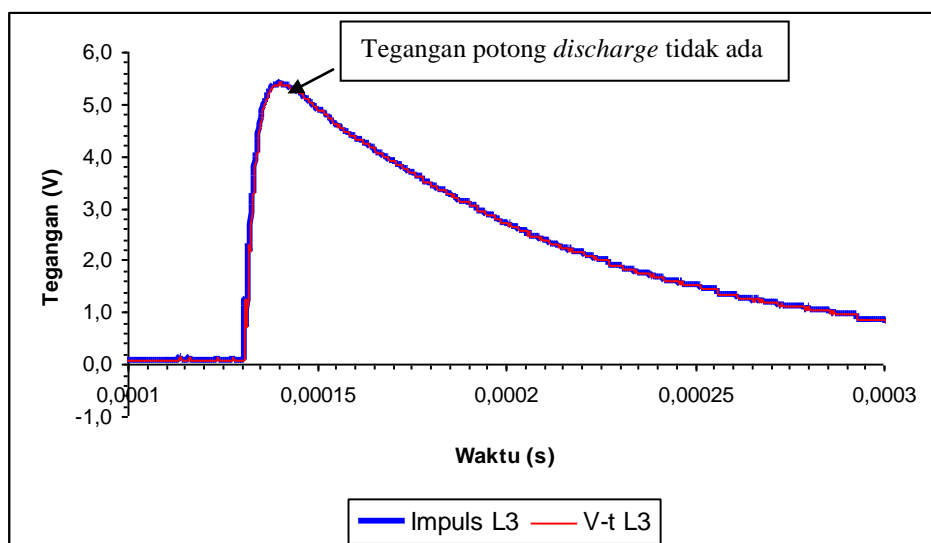
Hasil Pengujian Tegangan Potong Varistor $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$

Pengujian unjuk kerja varistor $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ dilakukan dengan perlakuan yang sama pada pengujian varistor ZnO murni yaitu dengan *input* tegangan 60 V serta variasi waktu muka yang sama yaitu 1,2 μs ; 2,3 μs ; 5,3 μs ; 10 μs ; dan 19 μs .. Pengujian menggunakan sampel dengan campuran 0,5mol%; 1,0mol%, 1,5mol%, 2,0mol% dan 5,0mol% Cr_2O_3 .

Hasil pengujian menunjukkan bahwa varistor campuran ZnO dengan Cr_2O_3 tidak berhasil memotong tegangan impuls yang

diberikan, untuk tegangan 1263,11 volt; 1344,60 volt; 1385,35 volt; 1426,10 volt dan 1466,84 volt masing-masing untuk waktu muka 1,2 μs ; 2,3 μs ; 5,3 μs ; 10 μs ; dan 19 μs . Contoh hasil pengujian tegangan potongnya diperlihatkan pada gambar 9.

Pada gambar 9, terlihat bahwa tegangan impuls yang terukur sebelum varistor dipasang pada rangkaian dan setelah dipasang pada rangkaian adalah berimpit. Hal ini menunjukkan bahwa varistor tidak berhasil melakukan pemotongan.



Gambar 9 Respon varistor ZnCr5.0 terhadap tegangan uji impuls 1385 V

Ketidakberhasilan varistor $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ dalam memotong tegangan impuls dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu : (1) Pemilihan Bahan. Berdasarkan penelitian yang banyak dilakukan, *chromium* memang dapat meningkatkan konduktifitas, namun bukan berarti dengan baiknya konduktifitas sebuah varistor maka baik pula unjuk kerja suatu varistor. Baik tidaknya unjuk kerja sebuah varistor juga sangat tergantung pada faktor non-linier dan bentuk mikrostruktur dasar yang dimilikinya. Untuk meningkatkan mikrostruktur dasar, diperlukan zat oksida lain yaitu *bismuth*, peroksida. Sedangkan untuk memperbaiki faktor nonlinier diperlukan *cobalt*, *mangan*. Dengan demikian untuk menghasilkan varistor yang baik dianjurkan menggunakan multikomponen, karena dengan campuran berbagai macam komponen tersebut kekurangan masing-masing zat dapat tertutupi sehingga dihasilkan varistor yang baik. (2) Pembentukan. Pembentukan yang dilakukan dengan metode *dry pressing* sangat efektif dalam pembuatan varistor. Namun yang menjadi permasalahan adalah besarnya tekanan yang harus diberikan dalam pembentukan varistor mentah. Sampai saat ini tidak ditemukan kajian hubungan antara tekanan dan sifat listrik yang akan di bentuk. (3) Penyinteran. Penyinteran yang dilakukan pada penelitian ini adalah 900°C dengan waktu penahan selama 2 jam. Suhu ini dipilih karena keterbatasan alat yang dimiliki. Pada dasarnya suhu yang baik untuk membuat varistor khususnya dengan bahan ZnO dan Cr_2O_3 sebaiknya berkisar antara 1150°C – 1350°C . Suhu penyinteran menjadi sangat penting karena pada proses penyinteran terjadi pembentukan mikrostruktur dasar yang tentunya lapisan batas butir yang terbentuk akan nampak lebih jelas. (3) Tegangan impuls uji yang terbatas. Tegangan pengujian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan *input* tegangan 40 V, 50 V, dan dan

60 V. *Input* tegangan yang diberikan tersebut dapat menghasilkan tegangan impuls sebesar 900 - 1450 Volt dengan menggunakan induktor 0,063 mH; 0,174 mH; 0,319 mH; 3,3 mH; dan 9,22 mH. Tegangan impuls tersebut dipilih karena varistor yang dibuat di disain untuk tegangan kerja 220 V. Dengan demikian tegangan impuls uji yang diberikan dapat juga menjadi penyebab tidak bekerjanya varistor $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ yang berarti bahwa varistor tersebut tidak dapat kerja memotong tegangan impuls pada *rating* tegangan tersebut. Oleh karena ada kemungkinan bahwa varistor $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ dapat memotong tegangan impuls namun pada *rating* tegangan impuls di atas 1450 V.

E. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan. Berdasarkan analisis menggunakan difraksi sinar-x membuktikan bahwa pada sampel ZnCr_5O terdeteksi fasa Cr_2O_3 dan senyawa yang terkandung dalam varistor tersebut adalah ZnO . Pengujian mikrostruktur dengan MO dan SEM tidak didapatkan hasil yang detail dikarenakan proses preparasi sampel yang tidak optimum dan tidak dilakukan proses pengetsan yang merupakan proses penting untuk melihat mikrostruktur. Varistor ZnO murni bekerja dalam memotong tegangan lebih, ini dapat dilihat dari perbandingan tegangan impuls yang diberikan lebih besar dari pada tegangan *discharge* varistor tersebut. Varistor dengan bahan campuran $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ tidak dapat bekerja memotong tegangan impuls 900 V–1450 V yang diberikan, hal ini diduga karena suhu penyinteran yang diberikan tidak optimum dan dopan yang diberikan tidak cukup untuk memperbaiki kinerja suatu varistor.

Daftar Pustaka

- [1]. Anonim. 2001 a. *ZnO-Arrester For Over Voltage Protection In Pulsed Power Circuit*. European electromagnetic launch society 12th Topical Meeting 10th to 12th. Institut Für Hochspannungstechnik Und Electriche Energieanlagen, Technische Universität Braunschweig.
- [2]. Anonim. _____ b. *Gas Tube Arresters*, Suntech. Co. Ltd. Suntech Company, U.S.A.
- [3]. Arismunandar, A. 1994. *Teknik Tegangan Tinggi*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- [4]. Brass, O. 1992. *Zinc-Oxide Arrester Design and Characteristics*. No. EU 1044-HR. Power System, INC. U.S.A.
- [5]. Chowdhuri, P. 1996. *Electromagnetic Transient in Power Systems*. John Willey & Sons INC. New York.
- [6]. Cotton, F. A. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Universitas Indonesia- Press. Jakarta.
- [7]. Clarke, D. R.. 1999. Varistor Ceramics. *Journal of the American Ceramics Society*. 82 [3] 485–502.
- [8]. Cullity. B.D. 1978. *Element of X-ray Diffraction*. Addison Wesley Publishing Company, Inc. New York.
- [9]. Giancoli, D.C. 1998. *Physics*. Pretice-Hall. Inc. London.
- [10]. Goodhew, P.J. and Humphreys, F. J. 1988. *Electron Microscopy and analisys*. Burgess Science Press. London. Pp 232.
- [11]. Kind, D. 1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- [12]. Hyuk, Y. M. 1997. The Effect of Cr₂O₃ Additive on the Electrical Properties of ZnO Varistor. *Journal Of the Materials Science* 32:1665 – 1670. 13 February 1996.
- [13]. Muftazani, M. 2004. *Pengaruh Doping Sn terhadap Sifat Listrik dan Optik Lapisan Tipis ZnO dideposisikan dengan Metoda Spray Pyrolysis*. Departemen Teknik fisika ITB : Bandung.
- [14]. Matsuoka, M. 1971. Nonohmic Properties of Zinc Oxide Ceramics. *Journal Appl. Phys.* 10(1971)736.
- [15]. Perkes, P. 1999. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Pattern in nature. Department of Physics and Astronomy, Arizona State University. Maret 2007. <http://accept.asu.edu/PiN/rdg/elmicr/elmicr.shtml>.
- [16]. Richerson, D.W. 1992. *Modern Ceramic Engineering : Properties, Processing and Use in Design*. M. Dekker. New York.
- [17]. Syarif, D.G. dkk. 1998. Pengaruh Parameter Penyinteran Terhadap Karakteristik E –J ZnO dan Varistor ZnO-Bi₂O₃. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi III*. 20 – 21 Oktober 1998, Serpong.
- [18]. Sukirman, E. dan Syarif, D.G. 1998. Studi Difraksi Sinar-x pada Varistor ZnO yang didoping Bi₂O₃ dan disinter pada Berbagai Suhu. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi III*. 20 – 21 Oktober 1998, Serpong.
- [19]. Smith.1990. *Principles of Materials Science and Engineering*. McGraw-hill, Inc. P 864.
- [20]. Setiawan, A. 2006. *Unjuk Kerja Arrester ZnO Tegangan Rendah 220 V*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [21]. Takata. 1976. Dependence of Electrical Conductivity of ZnO of degree of Sintering. *Journal of the American Ceramics Society*.

- [22]. Tobing, L. B. 2003 a. *Peralatan Tegangan Tinggi*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [23]. Tobing, L. B. 2003 b. *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [24]. Winter, M. 2007. Chromium. Periodic Table. 11 maret 2007. The University of Sheffield and WebElements Ltd, UK. <http://www.webelements.com/>